

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ ΚΑΡΑΠΠΕΡΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΜΙΑΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΣΕ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΟ ΥΔΡΟΦΟΡΟ
ΣΤΡΩΜΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΕΥΝΙΑΔΑΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΟΥΛΙΟΣ

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2006**

HD 525858
HC 999338

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ**

11 ΑΠΡ. 2006

ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ ΚΑΡΑΠΠΕΡΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΜΙΑΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΣΕ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΟ ΥΔΡΟΦΟΡΟ
ΣΤΡΩΜΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΞΥΝΙΑΔΑΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΟΥΛΙΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2006



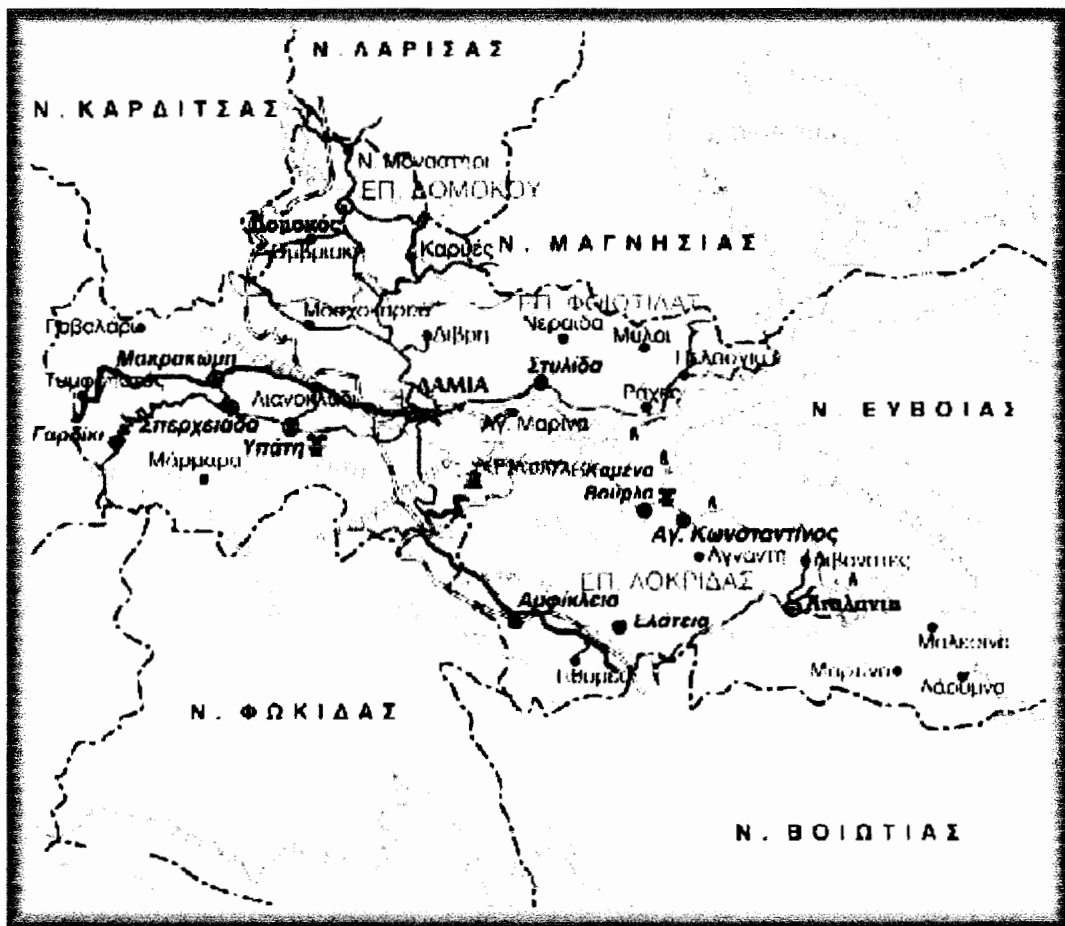
ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΙΑΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΣΕ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΟ ΥΔΡΟΦΟΡΟ ΣΤΡΩΜΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΞΥΝΙΑΔΑΣ

1. Εισαγωγή - Γεωλογία

Το νερό αποτελεί ένα από τα περισσότερο απαραίτητα στοιχεία στη ζωή του ανθρώπου. Από την αρχαιότητα ο άνθρωπος προσπάθησε να εφεύρει διάφορους τρόπους περισυλλογής και αποθήκευσης του νερού, όπως αναφέρεται σε πολλά ιστορικά βιβλία. Αυτό, άλλωστε, αποδεικνύεται και από ορισμένα μνημεία που σώζονται μέχρι σήμερα εξ ολοκλήρου ή από εναπομείναντα τμήματα αυτών, όπως π.χ. υδραγωγεία. Σήμερα με την εξέλιξη της τεχνολογίας και με τις ολοκληρωμένες επιστημονικές και τεχνικές γνώσεις που διαθέτει ο άνθρωπος έχουν βελτιωθεί κατά πολύ οι μέθοδοι σύλληψης του υπόγειου νερού με σκοπό την εκμετάλλευσή του. Η σύλληψη αυτή του υπόγειου νερού με οποιονδήποτε τρόπο καλείται υδρομάστευση και τα αντίστοιχα τεχνικά έργα με τα οποία γίνεται αυτή υδρομαστευτικά έργα.

Τα σημαντικότερα υδρομαστευτικά έργα αποτελούν οι γεωτρήσεις με τις οποίες γίνεται η σύλληψη του υπόγειου νερού από υδροφόρα στρώματα που βρίσκονται σε αρκετό βάθος από την επιφάνεια της γης (υδρογεωτρήσεις). Τα ειδικά χαρακτηριστικά μιας τέτοιας γεώτρησης δίνουν πολλές πληροφορίες για την υδραυλική συμπεριφορά και το δυναμικό των υδροφορέων, καθώς και για τη φύση αυτών, όπως επίσης και για την ποιότητα και καταλληλότητα του υπόγειου νερού της κάθε περιοχής.

Στην εργασία αυτή, συγκεκριμένα, επεξεργάζονται και αναλύονται τα υδραυλικά και υδροχημικά δεδομένα αντλήσεως μιας γεώτρησης που διαπερνά οφιολιθικό υδροφόρο στρώμα στην περιοχή της Ξυνιάδας. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται μερικά χιλιόμετρα ΝΑ έξω από την Ομβριακή του Ν. Φθιώτιδος.



Εικόνα 1. Θέση της περιοχής στο χάρτη.

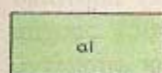
060046

Η περιοχή ανήκει γεωλογικά στην Υποπελαγονική ζώνη. Οι σχηματισμοί που επικρατούν είναι κυρίως οφιόλιθοι, που στο σύνολό τους περιλαμβάνουν μια σειρά από εκρηξιγενή πετρώματα, όπως διαβάση-δολερίτη, διορίτες, κεραστιλίτες, διαβασικούς πορφυρίτες, βασικούς ηφαιστειακούς τόφφους και ηφαιστειακά λατυποπαγή. Στην άμεση γειτονία αυτών απαντούν πάλι μέλη της οφιολιθικής σειράς πετρωμάτων, όπως περιδοτίτες, δουνίτες, πυροξενικοί περιδοτίτες, ολιβινίτες, σερπεντίνες, πυροξενίτες, γάββροι, γαββροαπλίτες και γαββροπηγματίτες, καθώς και Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι πλακώδεις, μαργαϊκοί με απολιθώματα *Radiolites* και συμπαγείς ασβεστόλιθοι με απολιθώματα *Hippurites*. Στην περιοχή εμφανίζεται ακόμη Ανωκρητιδικός φλύσχης και σε ορισμένα σημεία η σχιστοκερατολιθική με οφιολίθους και σερπεντίνες διάπλαση ηλικίας Τριαδικού – Ιουρασικού. Τέλος, μεγάλες εκτάσεις καλύπτουν οι διλουβιακές και αλλουβιακές αποθέσεις του Τεταρτογενούς (προσχώσεις και κορήματα ορέων).

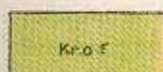
Στις επόμενες σελίδες (εικ. 3) παρουσιάζεται συνοπτικός γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής και διακρίνεται το σημείο όπου βρίσκεται η γεώτρηση, καθώς και η λιθολογία της περιοχής (εικ. 4).

ΥΠΟΜΝΗΜΑ - LEGEND

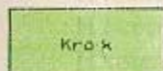
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ



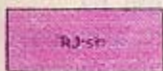
Τεταρτογενές αδιαίρετον. Διλούβιον και Άλλούβιον. Προσχώσεις διάφοροι και κορήματα όρέων. Αργίλλοι, άμμοι, λατίπαι, κροκάλοι. Παράκτια κροκαλοπαγή. Ήπειρωτικά απόθεσις.



Άνωκρητιδικός Φλύσχης. Άργιλλικοί ψαμίται, άργιλλικοί σχιστόλιθοι. Κροκαλοπαγή. Άσβεστόλιθοι παρεναστροφόμενοι. Άπολιθώματα: *Hippurites*, *Radiolites*, *Miliolidae*, *Rotalidae* κ. ά.



Άνωκρητιδικός άσβεστόλιθος έξ επικλύσεως. Πλακώδεις μαργαίκοι άσβεστόλιθοι με *Radiolites*. Συμπαγείς άσβεστόλιθοι με *Hippurites*, *Orbitoides* κ.ά.



Σχιστοκερατολιθική διάπλασις με όφειολίθους και σερπεντίνες. Τριαδικόν-Ίουρασικόν. Σύστημα άργιλλικών σχιστολίθων, κερατολίθων, μαργαϊκών άσβεστολίθων, εις λεπτά έναλλασσόμενα στρώματα. Πλακώδεις και συμπαγείς άσβεστόλιθοι παρεναστροφόμενοι. Σπάνια κροκαλοπαγή. Όφειόλιθοι διάφοροι και τόφοι αυτών. Σερπεντίναι. Άπολιθώματα: *Megalodon*, *Gladacoropsis*, *Diptopora* κ. ά.

SEDIMENTARY ROCKS

Quaternary undivided. Diluvium and Alluvion. Clays, sands, gravels, talus. Coastal conglomerates. Continental deposits.

Uppercretaceous Flysch. Shales, sandstones, conglomerates and intercalated limestones. Fossils: *Hippurites*, *Radiolites*, *Miliolidae*, *Rotalidae* etc.

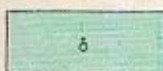
Uppercretaceous transgressif limestones. Platy limestones with *Radiolites*. Massive limestones with *Hippurites*, *Orbitoides* etc.

Shales, cherts, marly limestones in fine alternations (Schiefer — Hornstein — Komplex) Triassic — Jurassic. Platy and massive limestones intercalated Ophiolites and their tuffs. Serpentine. Fossils: *Megalodon*, *Gladacoropsis*, *Diptopora* etc.

ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ



Περιδοτίτης. Δουνίται με χρωμίτας, πυροξενικοί περιδοτίται, όλιβίται. Πυροξενίται. Γάββροι, γάββροαπλίται και γάββροπηγμαίται. Σερπεντίναι. Έντός της σχιστοκερατολιθικής μεσοζωικής διαπλάσεως *IRJ-sh* και *Kr.o-sh*. Επίσης σπανιότερον έντός του άνωκρητιδικού φλύσχου.



Διαβάσης-Δολερίτης. Τόφοι βασικών έκρηξιγενών πετρωμάτων. Ήφαιστειακά λατυοπαγή. Διαβασικοί πορφυρίται. Κερουσίλιβίται. Διορίται. Έντός της μεσοζωικής σχιστοκερατολιθικής διαπλάσεως *IRJ-sh* και *Kr.o-sh*. Σπανιότερον έντός του άνωκρητιδικού φλύσχου.



Άλκαλικοί γρανίται, όρθοφύραι και άλλα συγγενή άξινα και άλκαλικά μέλη της ομάδος των όφειολίθων της διαπλάσεως *IRJ-sh*.

IGNEOUS ROCKS

Peridotite. Dunite with chromite pyroxenperidotite, olivinite. Pyroxenite Gabbro, gabbroaplite, gabbropegmatite, Serpentine. In the mesozoic shales-cherts group *IRJ-sh* and *Kr.o-sh*. Rarely in the uppercretaceous flysch.

Diabas-Dolerite. Tuffs of igneous basic rocks. Volcanic breccia. Diabas porphyrite. Hornblentite. Diorite. In the mesozoic shales-cherts group *IRJ-sh* and *Kr.o-sh*. Rarer in the uppercretaceous flysch.

Alcaline granites, orthophyres and other acid and alkaline members of the ophiolites group in the *IRJ-sh* formation.

- < Διευθύνσεις και κλίσεις στρωμάτων
- ⊙ Θέσεις άνευρέσεως άπολιθωμάτων.
- Χαρακτηριστικά μεταπτώσεις και τεκτονικά έπαφά.
- ✕ Μεταλλείον έν ένεργεία
- ✕ Μεταλλείον άργονθ.
- ➔ Έμφάνις μεταλλεύματος.

- Strike and dip of the beds.
- Fossils.
- Main fault and tectonic contact.
- Active Mine.
- Idle Mine.
- Ore Occurrence

ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΑ — ORES

Al Βοξίτης	Bauxite	Mn Μαγγάνιον	Manganese
C Λιγνίτης	Lignite	Mt Μαγνητίτης	Magnetite
Cr Χρωμίτης	Chromite	Ni Νικέλιον	Nickel
Cu Χαλκός	Copper	Pr Μαγνητοπυρίτης	Pyrrhotite
Fe Σιδηρός (λιμωνίτης)	Iron (Limonite)	Py Σιδηροπυρίτης	Pyrite
Cf Τύρφη	Turf		

2. Δεδομένα άντλησης και αξιολόγηση των δεδομένων

Η εργασία αυτή βασίζεται σε έργο που πραγματοποιήθηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε. με σκοπό την έρευνα και αξιολόγηση των υπόγειων νερών της Ανατ. Στερεάς Ελλάδας. Έτσι, πραγματοποιήθηκαν τρεις διαδοχικές αντλήσεις με διαφορετική κάθε φορά σταθερή παροχή νερού για ορισμένο χρονικό διάστημα (24h, 10h, 2h αντίστοιχα) σε γεώτρηση που διαπερνά οφιολιθικό υδροφόρο στρώμα πάχους 150m και μετρήθηκε η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα σε συνάρτηση με το χρόνο άντλησης, καθώς και η επαναφορά της στάθμης αυτής σε συνάρτηση με το χρόνο μετά τη διακοπή της κάθε άντλησης αντίστοιχα. Σαν πιεζόμετρο παρατήρησης χρησιμοποιείται η ίδια η αντλούμενη γεώτρηση, επομένως, σαν απόσταση x θεωρείται η ακτίνα R της γεώτρησης ($x = R$). Από τις διάφορες τιμές της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα υπολογίζεται η πτώση της στάθμης δ από μια αρχική θέση ισορροπίας (στάθμη ηρεμίας).

Η πρώτη άντληση πραγματοποιήθηκε με σταθερή παροχή $q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ και διάρκεια 24 ωρών.

Η δεύτερη άντληση πραγματοποιήθηκε με σταθερή παροχή $q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ και διάρκεια 10 ωρών.

Η τρίτη άντληση πραγματοποιήθηκε με σταθερή παροχή $q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$ και διάρκεια 2 ωρών.

Τα δεδομένα που εξάγονται απεικονίζονται γραφικά σε διαγράμματα, οπότε προκύπτουν οι γραφικές παραστάσεις με βάση τις οποίες υπολογίζονται οι υδραυλικές παράμετροι του υδροφόρου στρώματος. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η μέθοδος $\delta, \log t$ κατά Jacob.

Τα δεδομένα της άντλησης για τις τρεις τιμές της παροχής q δίνονται στους πίνακες που ακολουθούν (πιν. 1, 2 και 3).

στάθμη ηρεμίας (m) : 26.65

χρόνος (sec)	στάθμη (m)	πτώση στάθμης (m)
30	27.00	0.35
60	27.55	0.90
90	27.58	0.93
120	27.65	1.00
150	27.65	1.00
180	27.65	1.00
240	27.68	1.03
300	27.68	1.03
360	27.70	1.05
480	27.78	1.13
600	27.81	1.16
720	27.88	1.23
900	27.95	1.30
1200	28.03	1.38
1500	28.18	1.53
1800	28.25	1.60
2100	28.35	1.70
2400	28.48	1.83
3000	28.62	1.97
3600	28.78	2.13
4500	28.85	2.20
5400	29.13	2.48
6300	29.30	2.65
7200	29.40	2.75
8100	29.55	2.90
9000	29.72	3.07
10800	29.90	3.25
12600	30.10	3.45
14400	30.30	3.65
16200	30.45	3.80
18000	30.60	3.95
21600	30.82	4.17
25200	31.18	4.53
28800	31.32	4.67
36000	31.58	4.93
43200	32.06	5.41
50400	32.42	5.77
61200	32.87	6.22
72000	33.12	6.47
82800	33.40	6.75
86400	33.45	6.80

Πίνακας 1. Δεδομένα άντλησης με σταθερή παροχή $q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$

στάθμη ηρεμίας (m) : 31.4

χρόνος (sec)	στάθμη (m)	πτώση στάθμης (m)
30	33.00	1.60
60	33.00	1.60
90	33.00	1.60
120	33.00	1.60
150	33.08	1.68
180	33.12	1.72
240	33.26	1.86
300	33.28	1.88
360	33.35	1.95
480	33.43	2.03
600	33.52	2.12
720	33.60	2.20
900	33.69	2.29
1200	33.83	2.43
1500	33.96	2.56
1800	34.05	2.65
2100	34.18	2.78
2400	34.31	2.91
3000	34.47	3.07
3600	34.62	3.22
4500	34.85	3.45
5400	35.00	3.60
7200	35.35	3.95
9000	35.61	4.21
10800	35.85	4.45
12600	36.09	4.69
14400	36.29	4.89
18000	36.63	5.23
21600	36.90	5.50
25200	37.22	5.82
28800	37.45	6.05
32400	37.65	6.25
36000	37.88	6.48

Πίνακας 2. Δεδομένα άντλησης με σταθερή παροχή $q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$

στάθμη ηρεμίας (m) : 29,90

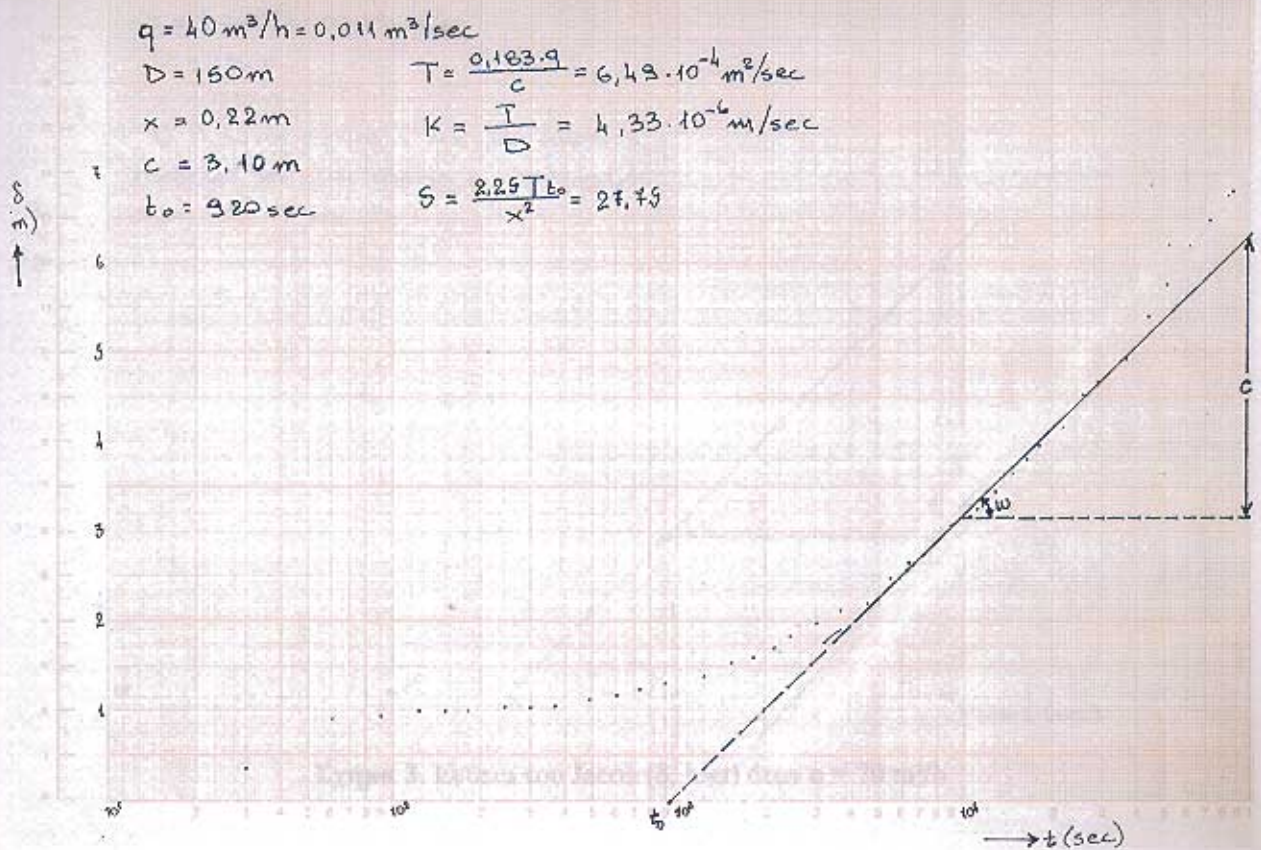
χρόνος (sec)	στάθμη (m)	πτώση στάθμης (m)
30	31.20	1.30
60	31.50	1.60
90	31.60	1.70
120	31.62	1.72
150	31.72	1.82
180	31.82	1.92
240	31.90	2.00
360	32.00	2.10
480	32.10	2.20
600	32.21	2.31
720	32.35	2.45
900	32.48	2.58
1200	32.70	2.80
1500	32.88	2.98
1800	33.10	3.20
2100	33.22	3.32
2400	33.38	3.48
3000	33.65	3.75
3600	33.88	3.98
4500	34.25	4.35
5400	34.60	4.70
6300	34.72	4.82
7200	34.83	4.93

Πίνακας 3. Δεδομένα άντλησης με σταθερή παροχή $q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$

Τα δεδομένα αυτά, δηλ. τα ζεύγη τιμών της πτώσης στάθμης δ και του αντίστοιχου χρόνου t αναπαριστούνται σε ημιλογαριθμικό χαρτί με εφαρμογή της μεθόδου του Jacob τοποθετώντας την πτώση στάθμης δ σε δεκαδικό κλίμακα και το χρόνο t σε λογαριθμική. Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν οι καμπύλες (δ , $\log t$) που ονομάζονται ευθείες του Jacob.

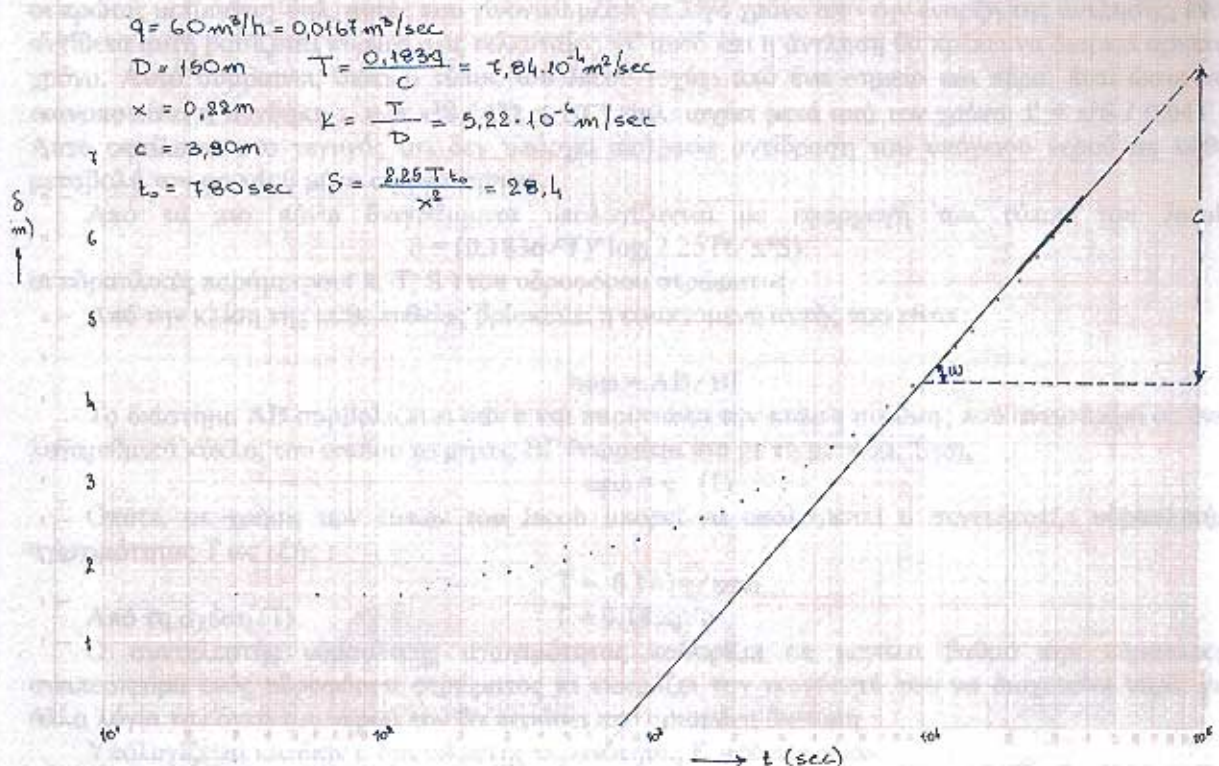
Στα σχήματα 1, 2 και 3 παρουσιάζονται τα διαγράμματα πτώση στάθμης (m) – χρόνου (sec) για τις τρεις αντλήσεις.

ΑΥΤΑΝΣΗ ΜΕ $Q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$



Σχήμα 1. Ευθεία του Jacob (δ , $\log t$) όταν $q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$

ΑΥΤΑΝΣΗ ΜΕ $Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$



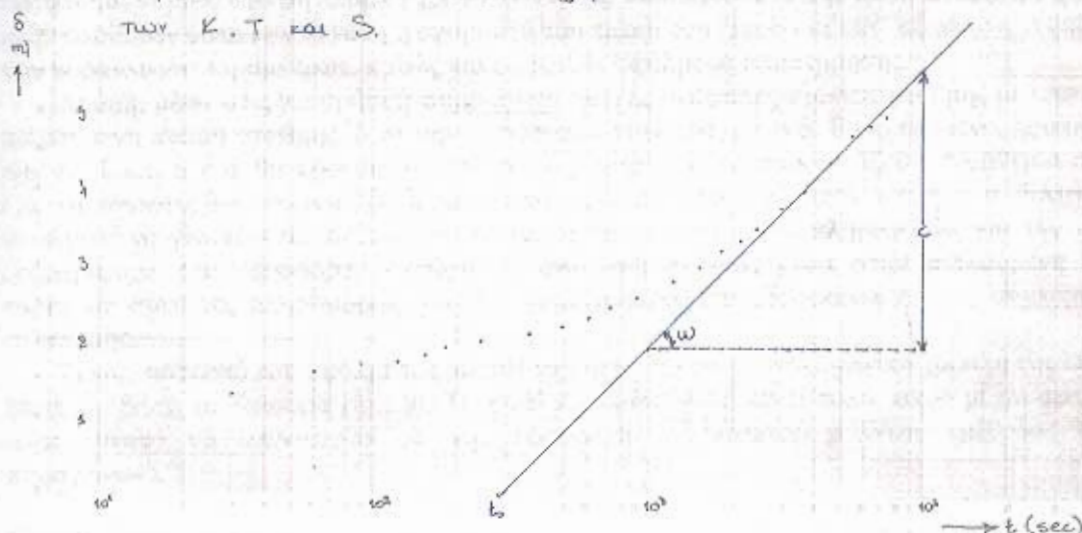
Σχήμα 2. Ευθεία του Jacob (δ , $\log t$) όταν $q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$

$$q = 70 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0194 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$D = 150 \text{ m}$$

$$x = 0.22 \text{ m}$$

Ο χρόνος άντλησης δεν είναι επαρκής, επομένως δεν είναι εφικτός ο υπολογισμός των K , T και S .



Σχήμα 3. Ευθεία του Jacob (δ , logt) όταν $q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$

Από τη μελέτη και σύγκριση των γραφικών παραστάσεων εξάγονται κάποια συμπεράσματα. Έτσι, παρατηρείται ότι η πτώση στάθμης δ αυξάνεται συνεχώς με το χρόνο και ότι κατά τον ίδιο χρόνο άντλησης t (στην ίδια φυσικά απόσταση x) είναι ανάλογη της παροχής q . Όσο αυξάνεται, λοιπόν, η παροχή, η πτώση στάθμης είναι μεγαλύτερη (πιο απότομη κλίση της ευθείας).

Θα πρέπει εδώ να επισημανθεί, ότι για τη χάραξη των ευθειών του Jacob δε λαμβάνονται υπόψη οι πρώτες μετρήσεις, δηλ. αυτές που γίνονται μέσα σε λίγο χρόνο από την έναρξη της άντλησης, ενώ αντίθετα αυτή βασίζεται κυρίως στις τελευταίες, γι' αυτό και η άντληση θα πρέπει να διαρκεί αρκετό χρόνο. Αυτό συμβαίνει, διότι ο τύπος του Jacob ισχύει από ένα σημείο και πέρα, έτσι ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη: $u = x^2 S / 4Tt \leq 10^{-2}$, δηλ. ισχύει μετά από τον χρόνο $t' = x^2 S / 0.04T$. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει ακαριαία αντίδραση του υπόγειου νερού σε κάθε μεταβολή του φορτίου μέσα στη γεώτρηση.

Από τα πιο πάνω διαγράμματα υπολογίζονται με εφαρμογή του τύπου του Jacob

$$\delta = (0.183q/T) \cdot \log(2.25Tt/x^2S)$$

οι υδραυλικές παράμετροι (k , T , S) του υδροφόρου στρώματος.

Από την κλίση της κάθε ευθείας βρίσκεται η εφαπτομένη αυτής που είναι:

$$\epsilon\phi\omega = AB/B\Gamma$$

Το διάστημα AB συμβολίζεται σαν c και παριστάνει την πτώση στάθμης που αντιστοιχεί σε ένα λογαριθμικό κύκλο, του οποίου το μήκος $B\Gamma$ θεωρείται ίσο με τη μονάδα. Έτσι,

$$\epsilon\phi\omega = c \quad (1)$$

Οπότε, με χρήση των τύπων του Jacob μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας T ως εξής:

$$T = 0.183q/\epsilon\phi\omega$$

Από τη σχέση (1):

$$T = 0.183q/c$$

Ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την υδραυλική συμπεριφορά ενός υδροφόρου στρώματος κι εκφράζει την ικανότητά του να διοχετεύει νερό, με άλλα λόγια τον όγκο του νερού που θα περάσει από ορισμένη διατομή.

Υπολογίζεται κατόπιν ο συντελεστής περατότητας K από τον τύπο:

$$K = T/D$$

Και τέλος, υπολογίζουμε τον συντελεστή εναποθήκευσης S από τον τύπο :

$$S = 2.25Tt_0 / x^2$$

Αυτός αποτελεί εξίσου σημαντική υδραυλική παράμετρο και εκφράζει τον όγκο του νερού που θα αποληφθεί από την εκκένωση υδροφορέα ορισμένου όγκου.

Οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων K , T και S για την περίπτωση του οφιολιθικού υδροφόρου στρώματος θα έπρεπε θεωρητικά να παίρνουν την ίδια τιμή και για τις τρεις αντλήσεις δεδομένου ότι η απόσταση x διατηρείται σταθερή. Ωστόσο, τα σφάλματα που υπεισέρχονται οφείλονται κυρίως στο μη επαρκή χρόνο άντλησης, ιδιαίτερα κατά την τρίτη άντληση ($q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$) στην οποία δεν είναι καν δυνατή η εφαρμογή του τύπου του Jacob και κατ' επέκταση, ο υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων, καθώς και σε τυχαία σφάλματα παρατήρησης.

Ακόμη, μέσα στις γεωτρήσεις συμβαίνουν πολλές ανώμαλες πτώσεις στάθμης με αποτέλεσμα η μετρούμενη πτώση στάθμης δ να μην αντιστοιχεί στην πραγματική. Είναι επόμενο, λοιπόν, οι τιμές των K , T και S που θα προκύψουν από τέτοιες μετρήσεις να παρουσιάζουν σημαντικά σφάλματα. Για να αποφευχθούν τέτοια σφάλματα είναι προτιμότερο, εφ' όσον υπάρχει η δυνατότητα, οι μετρήσεις να γίνονται σε πιεζόμετρα, τα οποία δίνουν καλύτερες πληροφορίες για την υδραυλική συμπεριφορά του υδροφόρου στρώματος, ενώ οι μετρήσεις μέσα στην αντλούμενη γεώτρηση παρέχουν σύνθετες πληροφορίες για την συμπεριφορά του υδροφορέα και τη συμπεριφορά της γεώτρησης.

Τέλος, ποσοστό του σφάλματος μπορεί να οφείλεται στην υποκειμενική χάραξη της ευθείας του Jacob με βάση τα διάφορα σημεία. Το σφάλμα, όμως, αυτό είναι πολύ μικρό μέχρι αμελητέο και είναι δυνατό να αποφευχθεί με την εφαρμογή στατιστικών μεθόδων (μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων).

3. Δεδομένα επαναφοράς της στάθμης και αξιολόγηση των δεδομένων

Μετά τη διακοπή της άντλησης με σταθερή κάθε φορά παροχή μετράται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα σε συνάρτηση με το χρόνο επαναφοράς (επάνοδος της στάθμης) και υπολογίζεται η πτώση στάθμης από την αρχική θέση ισορροπίας (στάθμη ηρεμίας) κατά την έναρξη της άντλησης. Τα δεδομένα επαναφοράς της στάθμης δίνονται στους παρακάτω πίνακες τιμών .

στάθμη ηρεμίας (m) : 26.65

χρόνος (sec)	στάθμη (m)	πτώση στάθμης (m)
30	32.17	5.52
60	32.42	5.77
90	32.53	5.88
120	32.50	5.85
150	32.47	5.82
180	32.45	5.80
240	32.41	5.76
360	32.33	5.68
480	32.26	5.61
600	32.21	5.56
720	32.17	5.52
900	32.10	5.45
1200	31.98	5.33
1500	31.90	5.25
1800	31.61	5.16
2100	31.73	5.08
2400	31.66	5.01
3000	31.52	4.87
3600	31.40	4.75

Πίνακας 4. Επαναφορά στάθμης μετά από άντληση με $q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$

στάθμη ηρεμίας (m) : 31.40

χρόνος (sec)	στάθμη (m)	πτώση στάθμης (m)
30	35.80	4.40
60	35.73	4.33
90	35.70	4.30
120	35.56	4.16
150	35.44	4.04
180	35.31	3.91
240	35.24	3.84
360	35.17	3.77
480	35.10	3.70
600	35.04	3.64
720	34.96	3.56
900	34.87	3.47
1200	34.72	3.32
1500	34.60	3.20
1800	34.48	3.08
2100	34.36	2.96
2400	34.25	2.85
3000	34.05	2.65
3600	33.87	2.47

Πίνακας 5. Επαναφορά στάθμης μετά από άντληση με $q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$

στάθμη ηρεμίας (m) : 29,90

χρόνος (sec)	στάθμη (m)	πτώση στάθμης (m)
30	32.90	3.00
60	33.00	3.10
90	33.00	3.10
120	33.00	3.10
150	33.00	3.10
180	32.95	3.05
240	32.90	3.00
360	32.88	2.98
480	32.73	2.83
600	32.62	2.72
720	32.52	2.62
900	32.42	2.52
1200	32.27	2.37
1500	32.16	2.26
1800	32.07	2.17
2100	31.96	2.06
2400	31.85	1.95
3000	31.71	1.81
3600	31.58	1.68
5400	31.22	1.32
7200	31.05	1.15

Πίνακας 6. Επαναφορά στάθμης μετά από άντληση με $q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$

Από τα δεδομένα αυτά κατασκευάζουμε και τα αντίστοιχα διαγράμματα (δ'' , $\log t/t''$). Με δ'' συμβολίζεται η πτώση στάθμης που παρατηρείται κατά την άνοδό της, δηλ. κατά τη διάρκεια του χρόνου t'' , που αντιπροσωπεύει το χρόνο με αρχή τη χρονική στιγμή t_1 της διακοπής της άντλησης. Ο χρόνος t είναι ο χρόνος με αρχή τη χρονική στιγμή $t = 0$ μέχρι και το τέλος του χρόνου t'' , δηλ. $t = t_1 + t''$.

Στους πίνακες 7, 8 και 9 δίνονται τα ζεύγη τιμών (δ'' , t/t'').

Στα σχήματα 4, 5 και 6 παρουσιάζονται τα διαγράμματα πτώσης στάθμης δ'' (m) – χρόνου t/t'' (sec) για την επάνοδο της στάθμης σε κάθε άντληση.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η μέθοδος της επανόδου της στάθμης ή μέθοδος του Theis για την επάνοδο της στάθμης.

Η άντληση που έγινε με παροχή $q=40\text{m}^3/\text{h}$ διακόπτεται στο χρόνο $t_1=86400\text{sec}$.
Κατασκευάζουμε, λοιπόν, τον παρακάτω πίνακα τιμών :

δ'' (m)	t'' (sec)	$t = t'' + t_1$ (sec)	t/t'' (sec)
5.52	30	86430	2881
5.77	60	86460	1441
5.88	90	86490	961
5.85	120	86520	721
5.82	150	86550	577
5.80	180	86580	481
5.76	240	86640	361
5.68	360	86760	241
5.61	480	86880	181
5.56	600	87000	145
5.52	720	87120	121
5.45	900	87300	97
5.33	1200	87600	73
5.25	1500	87900	58.6
5.16	1800	88200	49
5.08	2100	88500	42.1
5.01	2400	88800	37
4.87	3000	89400	29.8
4.75	3600	90000	25

Πίνακας 7.

Ομοίως, η άντληση με παροχή $q=60\text{m}^3/\text{h}$ διακόπτεται στο χρόνο $t_1=36000\text{sec}$. Έτσι,

δ'' (m)	t'' (sec)	$t = t'' + t_1$ (sec)	t/t'' (sec)
4.40	30	36030	1201
4.33	60	36060	601
4.30	90	36090	401
4.16	120	36120	301
4.04	150	36150	241
3.91	180	36180	201
3.84	240	36240	151
3.77	360	36360	101
3.70	480	36480	76
3.64	600	36600	61
3.56	720	36720	51
3.47	900	36900	41
3.32	1200	37200	31
3.20	1500	37500	25
3.08	1800	37800	21
2.96	2100	38100	18
2.85	2400	38400	16
2.65	3000	39000	13
2.47	3600	39600	11

Πίνακας 8.

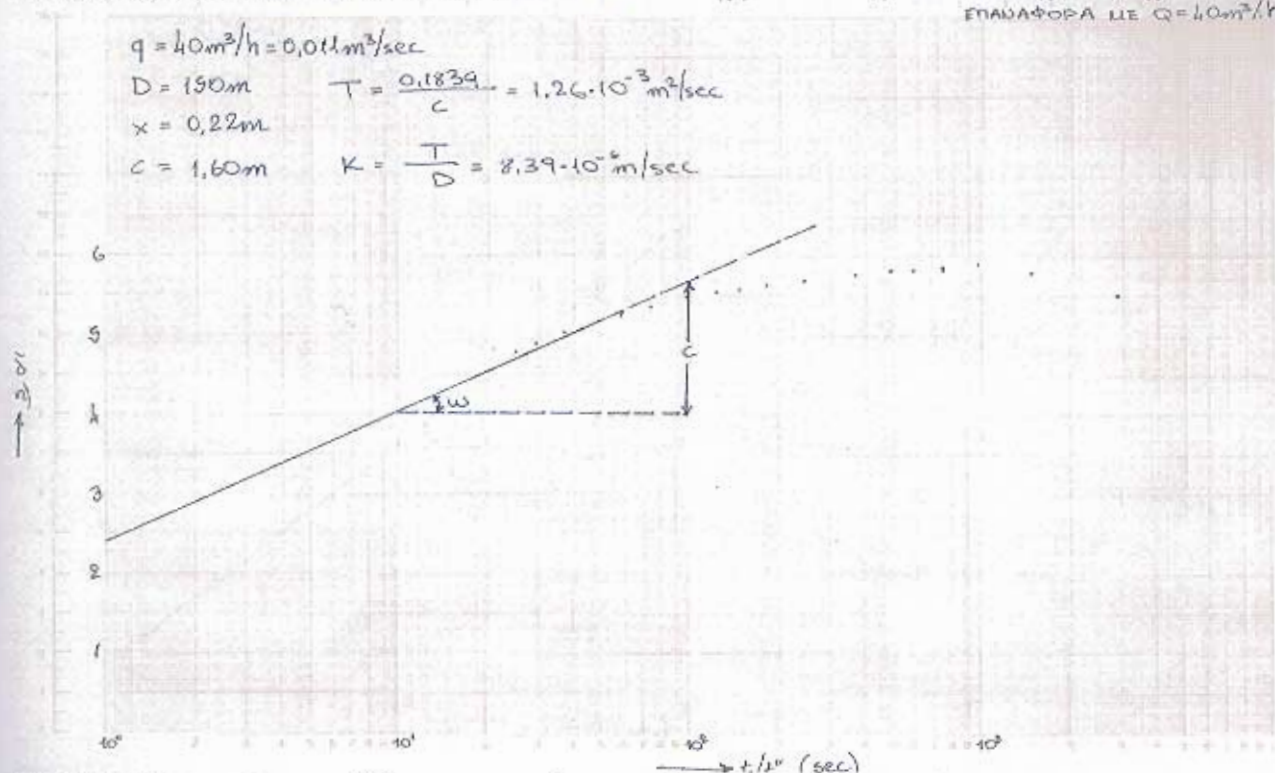
Και τέλος, η άντληση με $q=70\text{m}^3/\text{h}$ λήγει στο χρόνο $t_1=7200\text{sec}$. Οπότε :

δ'' (m)	t'' (sec)	$t = t'' + t_1$ (sec)	t/t'' (sec)
3.00	30	7230	241
3.10	60	7260	121
3.10	90	7290	81
3.10	120	7320	61
3.10	150	7350	49
3.05	180	7380	41
3.00	240	7440	31
2.98	360	7560	21
2.83	480	7680	16
2.72	600	7800	13
2.62	720	7920	11
2.52	900	8100	9
2.37	1200	8400	7
2.26	1500	8700	5.8
2.17	1800	9000	5
2.06	2100	9300	4.4
1.95	2400	9600	4
1.81	3000	10200	3.4
1.68	3600	10800	3
1.32	5400	12600	2.3
1.15	7200	14400	2

Πίνακας 9.

Με βάση τα δεδομένα αυτά προκύπτουν τα διαγράμματα της μεθόδου της επανόδου της στάθμης.

ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΜΕ $Q=40\text{m}^3/\text{h}$



Σχήμα 4. Εφαρμογή της μεθόδου επαναφοράς της στάθμης μετά από διακοπή της άντλησης με $q = 40\text{m}^3/\text{h}$

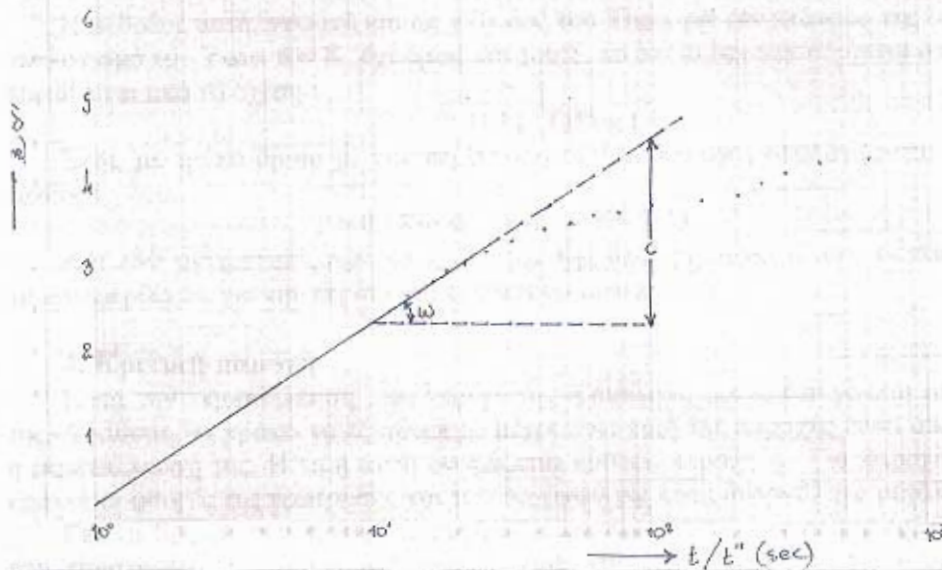
ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΜΕ $Q=60 \text{ m}^3/\text{h}$

$$q = 60 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0167 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$D = 150 \text{ m} \quad T = \frac{0.183q}{C} = 1.32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$x = 0.22 \text{ m}$$

$$C = 2.30 \text{ m} \quad K = \frac{T}{D} = 8.39 \cdot 10^{-6} \text{ m/sec}$$



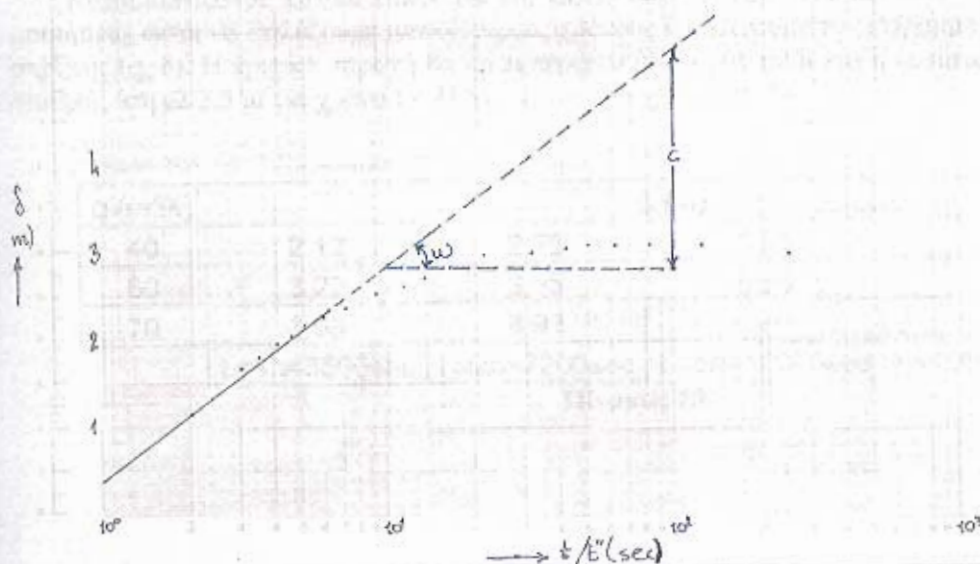
Σχήμα 5. Εφαρμογή της μεθόδου επαναφοράς της στάθμης μετά από διακοπή της άντλησης με $q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$

ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΜΕ $Q=70 \text{ m}^3/\text{h}$

$$q = 70 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0194 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$D = 150 \text{ m}$$

$$x = 0.22 \text{ m}$$



Σχήμα 6. Εφαρμογή της μεθόδου επαναφοράς της στάθμης μετά από διακοπή της άντλησης με $q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$

Λόγω μη επαρκούς χρόνου άντλησης με παροχή $q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$ δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων k , T και S .

Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι για να επανέλθει η στάθμη στην ακριβώς αρχική της θέση, 4 , $\delta''=0$ θα πρέπει $\log t A''=0$, θα πρέπει δηλαδή να περάσει άπειρος χρόνος. Αυτό πρακτικά δεν πρόκειται να συμβεί ποτέ, εκτός κι αν υπάρξει επανατροφοδοσία.

Επίσης, είναι φυσικό οι πρώτες μετρήσεις, που αντιστοιχούν σε μεγάλες τιμές του λόγου $t A''$, να αποκλίνουν από την ευθεία, γιατί δεν ισχύει ακόμα γι' αυτές το πρότυπο του Jacob, είναι δηλαδή $u > 10^{-2}$.

Η μέθοδος αυτή, γνωστή και ως μέθοδος του Theis για την επάνοδο της στάθμης, επιτρέπει τον υπολογισμό του T και του K , όχι όμως και του S , το οποίο δεν υπεισέρχεται στον τύπο της μεθόδου, που δίνεται από τη σχέση :

$$\delta'' = (0.183q/T) \cdot \log t A''$$

Έτσι, με τρόπο όμοιο με την περίπτωση των αντλήσεων, υπολογίζονται τα T και K από τους τύπους :

$$T = 0.183q/c \quad \text{και} \quad K = T/D$$

Και εδώ αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα της ύπαρξης σφαλμάτων, τα οποία οφείλονται στους προαναφερθέντες για την περίπτωση των αντλήσεων λόγους.

4. Κριτική παροχή

Κατά την εκμετάλλευση μιας γεώτρησης η άντληση αυτής δεν γίνεται με την μέγιστη παροχή της. Αντίθετα, θα πρέπει να εξετάσουμε μέχρι ποια τιμή της παροχής είναι οικονομικά συμφέρουσα η εκμετάλλευσή της. Η τιμή αυτή ονομάζεται κριτική παροχή q_c . Για παροχή μεγαλύτερη από την κριτική οι φθορές της γεώτρησης και των οργάνων της είναι δυσανάλογα μεγάλες.

Για να βρούμε την κριτική παροχή q_c παριστάνουμε σε διάγραμμα (q , δ) την πτώση στάθμης που παρατηρείται κατά την άντληση με κάθε τιμή της παροχής q για διάφορους χρόνους t . Οι καμπύλες που προκύπτουν βασίζονται στην εφαρμογή των τύπων του Dupuit και αποτελούνται από ένα αρχικό τμήμα περίπου ευθύγραμμο, ένα μεσαίο τμήμα αρκετά κυρτό κι ένα τελικό λιγότερο κυρτό προς ευθύγραμμο που τείνει να γίνει παράλληλο προς τον κατακόρυφο άξονα. Πάνω στην καμπύλη αυτή προσδιορίζεται ένα σημείο μέχρι το οποίο, δεχόμαστε, ότι υπάρχει κάποια γραμμικότητα μεταξύ των q και δ . Μετά από αυτό η καμπύλη αρχίζει να κυρτώνεται απότομα. Το σημείο αυτό λέγεται κριτικό σημείο της καμπύλης. Η παροχή που αντιστοιχεί στο κριτικό σημείο καλείται κριτική παροχή και η αντίστοιχη πτώση κριτική πτώση στάθμης.

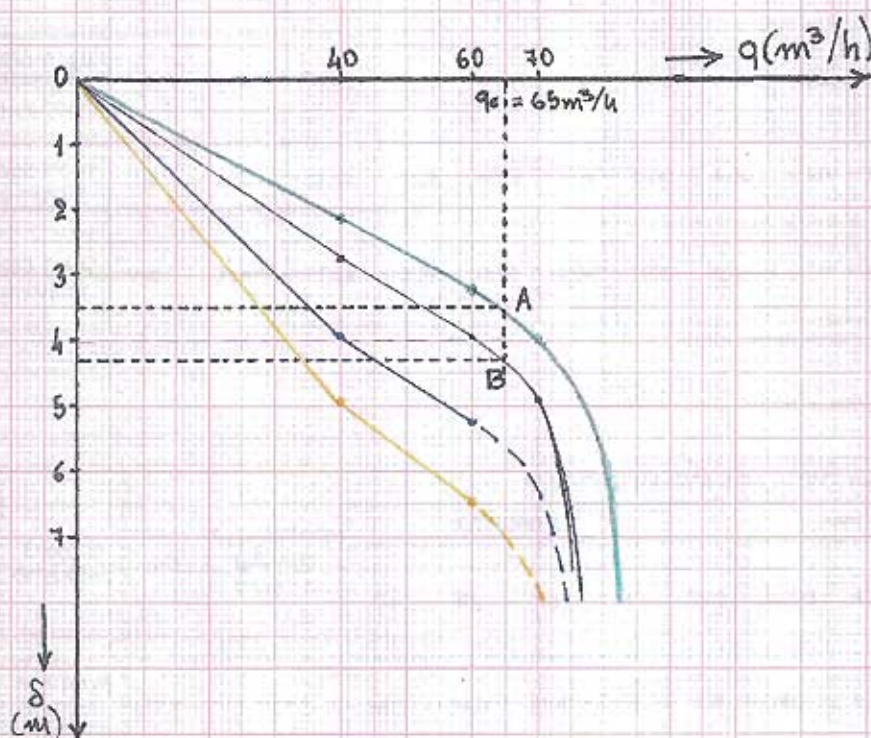
Η φυσική σημασία της κριτικής παροχής είναι ότι για κάθε αύξηση πέραν αυτής παρατηρείται δυσανάλογα μεγάλη πτώση στάθμης. Αυτό σημαίνει ότι για να αντληθεί μια ποσότητα νερού απαιτείται μεγαλύτερη δαπάνη ενέργειας απ' ότι αν η ίδια ποσότητα αντλούταν με χαμηλότερη παροχή.

Κατασκευάζουμε πίνακα τιμών για 1h, 2h, 5h και 10h (πιν. 10), εφ' όσον δεν έχουμε αρκετές μετρήσεις, ώστε να επιλέξουμε μεγαλύτερους χρόνους και κάνουμε το διάγραμμα παροχής – πτώσης στάθμης (q , δ). Η κριτική παροχή θα είναι περίπου ίση με $65 \text{ m}^3/\text{h}$ και η αντίστοιχη κριτική πτώση στάθμης ίση με 3.5 m για χρόνο $t = 1\text{h}$ και 4.3 m για χρόνο $t = 2\text{h}$.

$q \text{ (m}^3/\text{h)}$	$\delta \text{ (m)}$			
40	2.13	2.75	3.95	4.93
60	3.22	3.95	5.23	6.48
70	3.98	4.93	-	-
	$t = 1\text{h} = 3600\text{sec}$	$t = 2\text{h} = 7200\text{sec}$	$t = 5\text{h} = 18000\text{sec}$	$t = 10\text{h} = 36000\text{sec}$

Πίνακας 10.

$1h = 3600 \text{ sec}$
 $2h = 7200 \text{ sec}$
 $9h = 18000 \text{ sec}$
 $10h = 36000 \text{ sec}$



Σχήμα 7. Κριτική παροχή και κριτική πτώση στάθμης.

Η κριτική παροχή θα είναι περίπου ίση με $65 \text{ m}^3/\text{h}$ και η αντίστοιχη κριτική πτώση στάθμης ίση με 3.5 m για χρόνο $t = 1\text{h}$ και ίση με 4.3 m για χρόνο $t = 2\text{h}$.

5. Ποιότητα υπόγειου νερού

Μετά από κάθε άντληση, τα δείγματα του υπόγειου νερού αναλύονται χημικά σε εργαστήριο με σκοπό να διακριθεί η ποιότητά του και η καταλληλότητά του για διάφορες χρήσεις. Από τις χημικές αναλύσεις μπορούν να προκύψουν ακόμη στοιχεία για την υπόγεια διαδρομή και τη διέλευσή του από ορισμένους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Οι χημικές αυτές αναλύσεις επεξεργάζονται αριθμητικά και παριστάνονται υπό μορφή σημείων επάνω σε διαγράμματα, τα οποία επιτρέπουν συγκρίσεις, κατατάξεις, χαρακτηρισμούς και γενικά την εξαγωγή διαφόρων συμπερασμάτων για την ποιότητα του υπόγειου νερού.

Α) Ποιοτικά δεδομένα

Στη συγκεκριμένη εργασία πάρθηκαν τρία δείγματα νερού σε τρεις διαδοχικές στιγμές της άντλησης (αρχή, μέση και τέλος). Η χημική ανάλυσή τους έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα :

Α/Α	Α.Π.	Στοιχεία δείγματος	pH	Αγωγιμότητα (μS/cm), θ=25 ° C	ΧΙΛΙΟΣΤΟΙΣΟΔΥΝΑΜΑ ΑΝΑ ΛΙΤΡΟ, me/l									Σκληρότητα mg/CaCO3		
					ΚΑΤΙΟΝΤΑ				ΑΝΙΟΝΤΑ							
					Ca	Mg	Na	K	CO3	HCO3	Cl	SO4	NO3	Ολική	Παροδική	Μόνιμη
1	5227	No1 Αρχή άντλησης 16/9/2005	7,4	714	4,40	2,80	0,54	0,04	0,00	4,30	0,25	1,70	1,40	360	215	145
2	5228	No2 Μέση άντλησης	7,4	663	3,52	3,28	0,60	0,04	0,00	4,60	0,20	1,40	1,00	340	230	110
3	5229	No3 Τέλος άντλησης	7,4	714	3,44	3,36	0,50	0,04	0,00	4,46	0,20	1,50	1,00	340	223	117

Α/Α	Α.Π.	Στοιχεία δείγματος	pH	Αγωγιμότητα (μS/cm), θ=25 ° C	ΧΙΛΙΟΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑ ΛΙΤΡΟ, mg/l										Δείκτης πιθανής ρύπανσης	
					ΚΑΤΙΟΝΤΑ				ΑΝΙΟΝΤΑ							
					Ca	Mg	Na	K	CO3	HCO3	Cl	SO4	NO3	NO2	NH4	
1	5227	No1 Αρχή άντλησης 16/9/2005	7,4	714	88,2	34,0	12,4	1,6	0,0	262	8,9	81,7	86,8	<0,050	<0,26	
2	5228	No2 Μέση άντλησης	7,4	663	70,5	39,9	13,8	1,6	0,0	281	7,1	67,2	62,0	<0,050	0,50	
3	5229	No3 Τέλος άντλησης	7,4	714	68,9	40,9	11,5	1,6	0,0	272	7,1	72,0	62,0	0,10	<0,26	

Πίνακας 11. Έκθεση αποτελεσμάτων χημικής ανάλυσης των τριών δειγμάτων νερού.

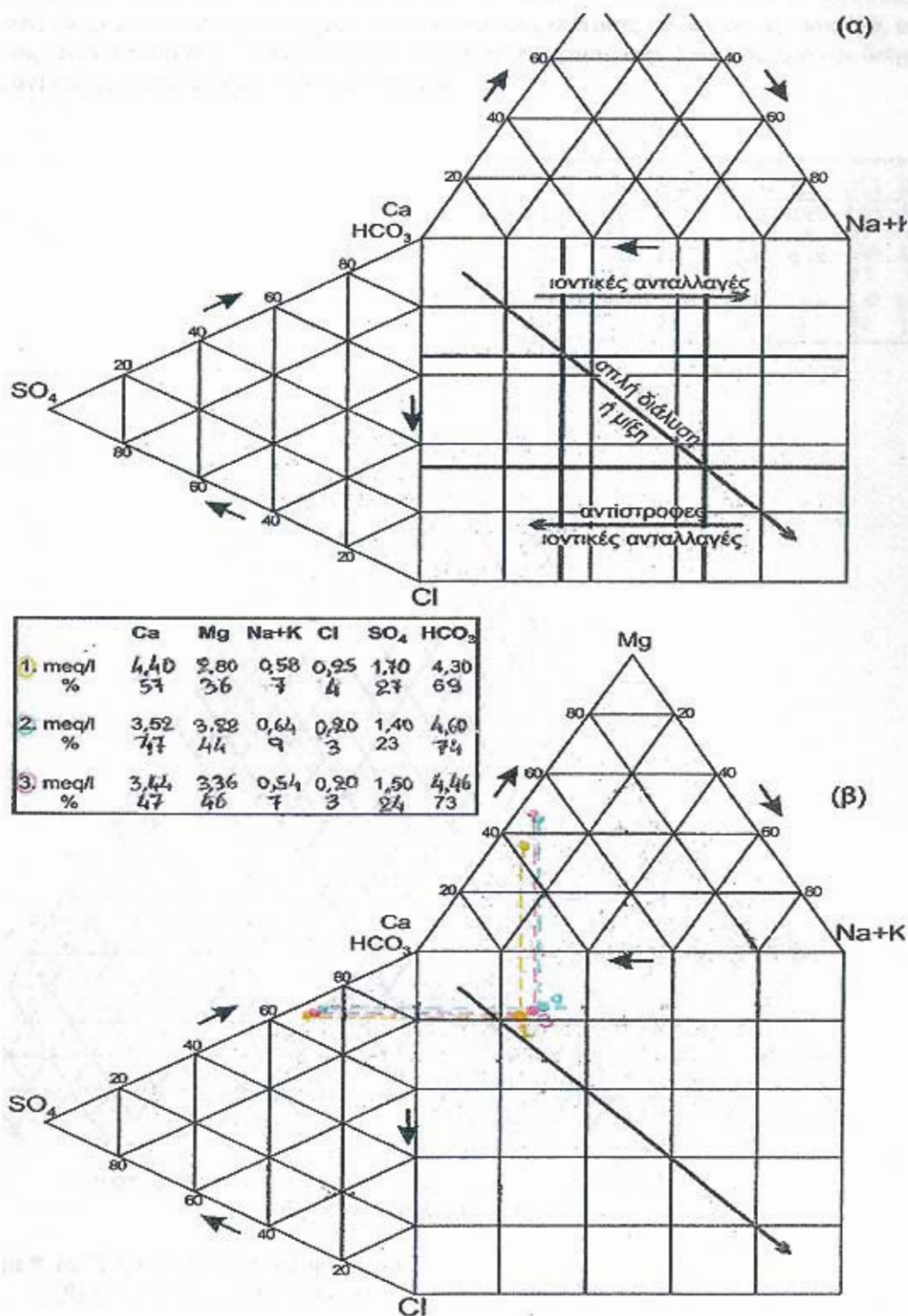
Με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων (πιν. 11) προκύπτει ότι η τιμή του pH είναι σταθερή και ίση με 7.4 και στα τρία δείγματα νερού υποδηλώνοντας αλκαλική συμπεριφορά. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται μεταξύ 663 και 714 μS/ cm και η ολική σκληρότητα μεταξύ 340 και 360 mg/CaCO₃.

B) Υδροχημικά διαγράμματα

1. Διάγραμμα Durov

Ένα από τα πιο διαδεδομένα διαγράμματα είναι το υδροχημικό διάγραμμα Durov. Εφαρμόζεται προβάλλοντας σε meq/l τα διάφορα ιόντα, και μάλιστα την εκατοστιαία αναλογία για τα κατιόντα και τα ανιόντα χωριστά. Έτσι, σε κάθε τριγωνικό διάγραμμα προκύπτουν τρία σημεία, αφού τόσα είναι και τα δείγματά μας, τα οποία προβάλλονται στη συνέχεια στο τετραγωνικό διάγραμμα και ανάλογα με τη θέση τους σ' αυτό κατατάσσονται σε διαφορετικές κατηγορίες νερού και σε περιοχές όπου συμβαίνουν στο νερό διάφορες υδροχημικές διεργασίες.

Τα δείγματα νερού εδώ ανήκουν σε περιοχή όπου λαμβάνουν χώρα ιοντικές ανταλλαγές



Σχήμα 8. (α) Υδροχημικό διάγραμμα Durov

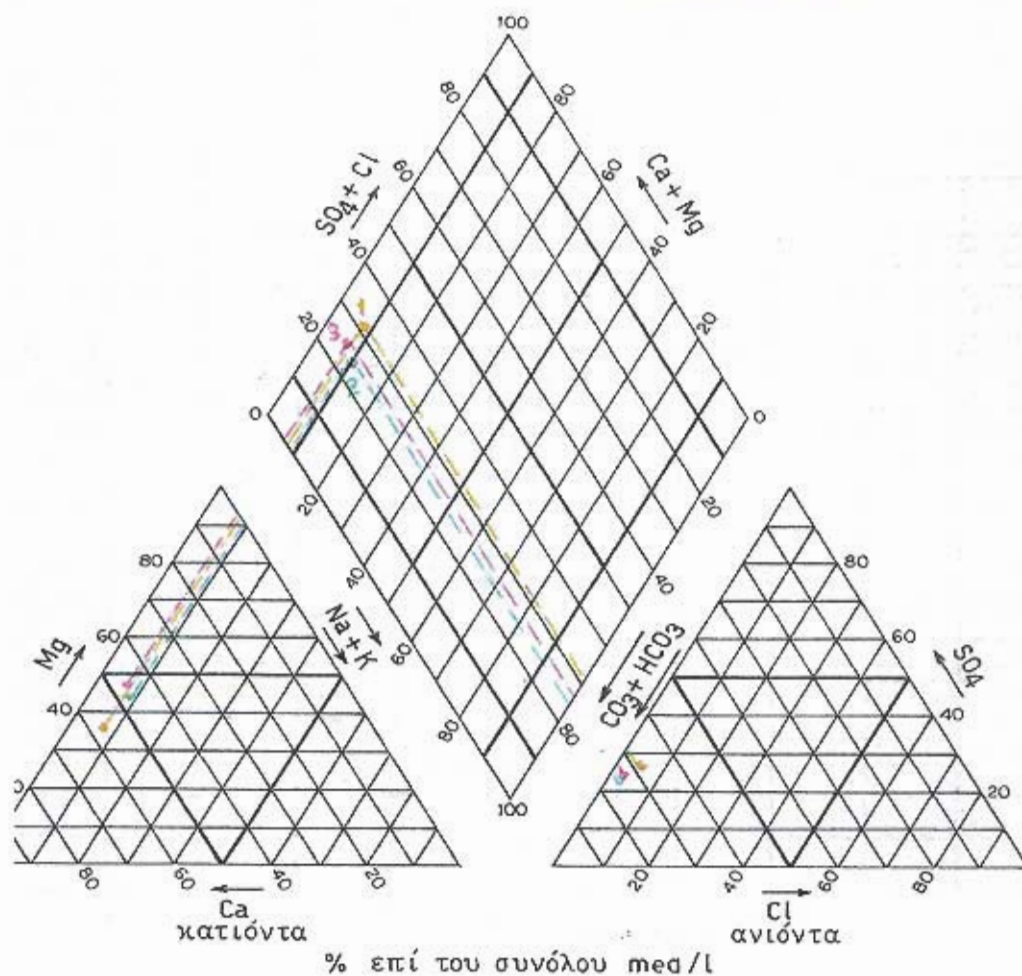
(β) Εφαρμογή του διαγράμματος για τα τρία δείγματα νερού

2. Διάγραμμα Piper

Ένα ακόμη διάγραμμα που χρησιμοποιείται ευρέως είναι το υδροχημικό διάγραμμα Piper. Αυτό αποτελείται από δυο τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα κατιόντα κι ένα για τα ανιόντα, κι ένα ενδιάμεσο ρομβικό που στο σύνολό τους σχηματίζουν ένα τρίγωνο. Προβάλλεται πάλι η εκατοστιαία αναλογία των κατιόντων και των ανιόντων χωριστά σε meq/l και προκύπτουν τρία σημεία σε κάθε τρίγωνο που κατατάσσονται σε κατηγορίες (φάσεις) και τρία σημεία στο ρομβικό διάγραμμα από τη μεταφορά τους σε αυτό από τα τριγωνικά διαγράμματα για κάθε ένα δείγμα νερού που κατατάσσονται επίσης σε κατηγορίες.

Το διάγραμμα Piper επιτρέπει την άμεση σύγκριση διαφόρων δειγμάτων νερού και την ταξινόμησή τους σε κατηγορίες και δίνει την υδροχημική φάση του δείγματος. Όπως προκύπτει από αυτό, λοιπόν, τα τρία δείγματα νερού έχουν στο σύνολό τους σύσταση ασβεστο-μαγνησιούχα, ενώ τα ανιόντα τους είναι ανθρακικά. Τα κατιόντα έχουν μεικτή σύσταση, ενώ αυτά του πρώτου δείγματος (αρχή της άντλησης) είναι περισσότερο ασβεστούχα.

	Ca	Mg	Na+K	Cl	SO ₄	HCO ₃
1. meq/l	4,40	2,80	0,58	0,25	1,70	4,30
%	51	36	7	4	21	69
2. meq/l	3,52	3,28	0,64	0,20	1,40	4,60
%	47	44	9	3	23	74
3. meq/l	3,44	3,36	0,54	0,20	1,50	4,46
%	47	46	7	3	24	73

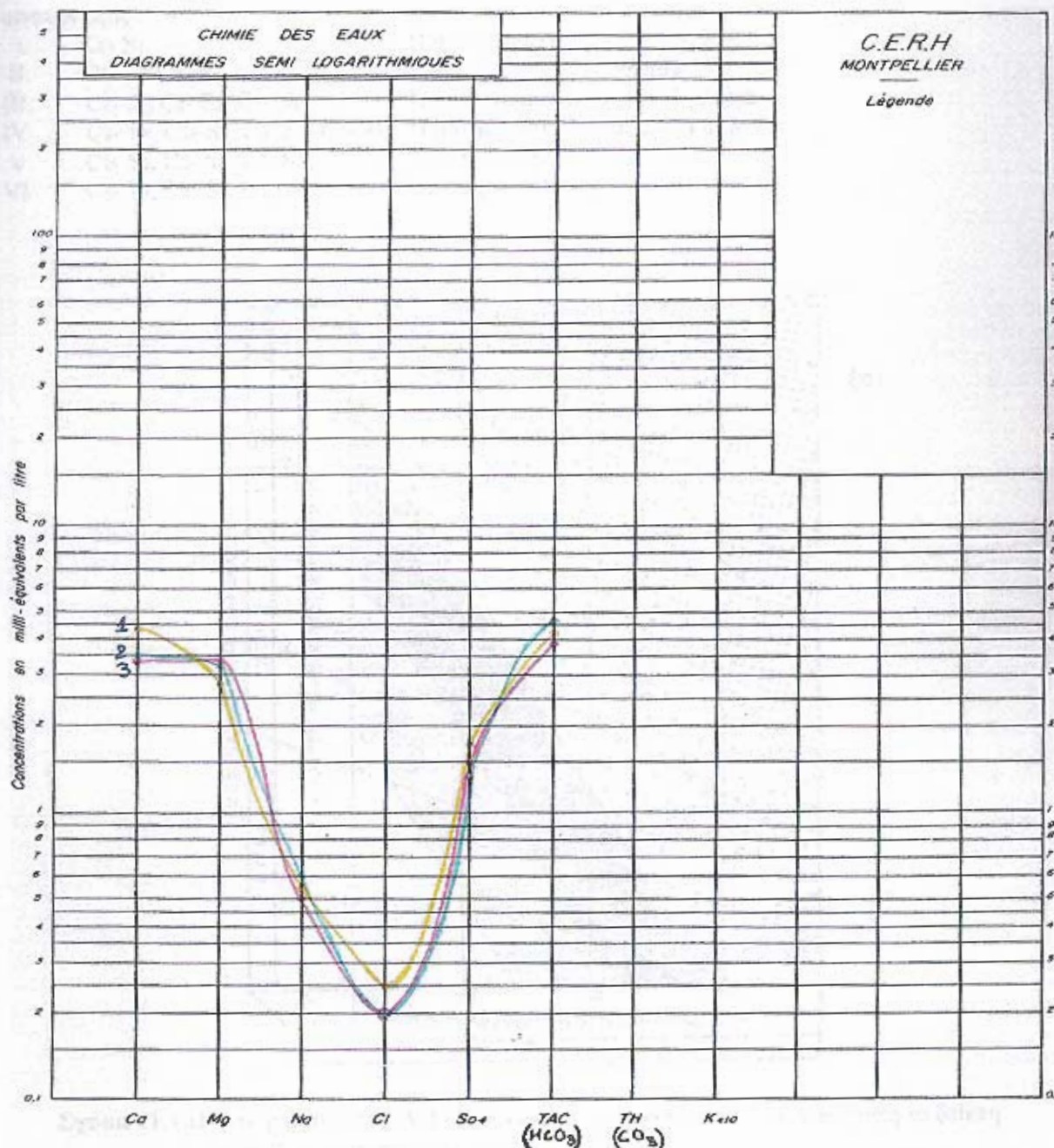


Σχήμα 9. (α) Υδροχημικό διάγραμμα Piper.

(β) Εφαρμογή του διαγράμματος για τα τρία δείγματα νερού.

3. Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ή διάγραμμα Schoeller

Ένα άλλο διάγραμμα που βρίσκει εφαρμογή είναι το ημιλογαριθμικό διάγραμμα ή διάγραμμα Schoeller (σχήμα 10). Σ' αυτό, ο κατακόρυφος άξονας περιλαμβάνει τιμές διαφόρων ιόντων σε mg/l, ενώ ο οριζόντιος τα διάφορα ιόντα. Με εφαρμογή του διαγράμματος για τα τρία δείγματα νερού συμπεραίνεται ότι πρόκειται για γλυκό νερό, εφ' όσον οι καμπύλες έχουν το κυρτό μέρος προς τα κάτω. Στην αντίθετη περίπτωση, όπου το κυρτό μέρος βρίσκεται προς τα επάνω, το νερό χαρακτηρίζεται υφάλμυρο. Ακόμη, το διάγραμμα δείχνει ότι όσο πιο επάνω βρίσκεται η καμπύλη, τόσο μεγαλύτερη είναι η συνολική περιεκτικότητα του δείγματος σε ιόντα (T.D.S.). Από το διάγραμμα φαίνεται ότι και τα τρία δείγματα νερού έχουν πάνω κάτω την ίδια συνολική περιεκτικότητα σε ιόντα.



Σχήμα 10. Ημιλογαριθμικό διάγραμμα κατά Schoeller και εφαρμογή του για τα τρία δείγματα νερού

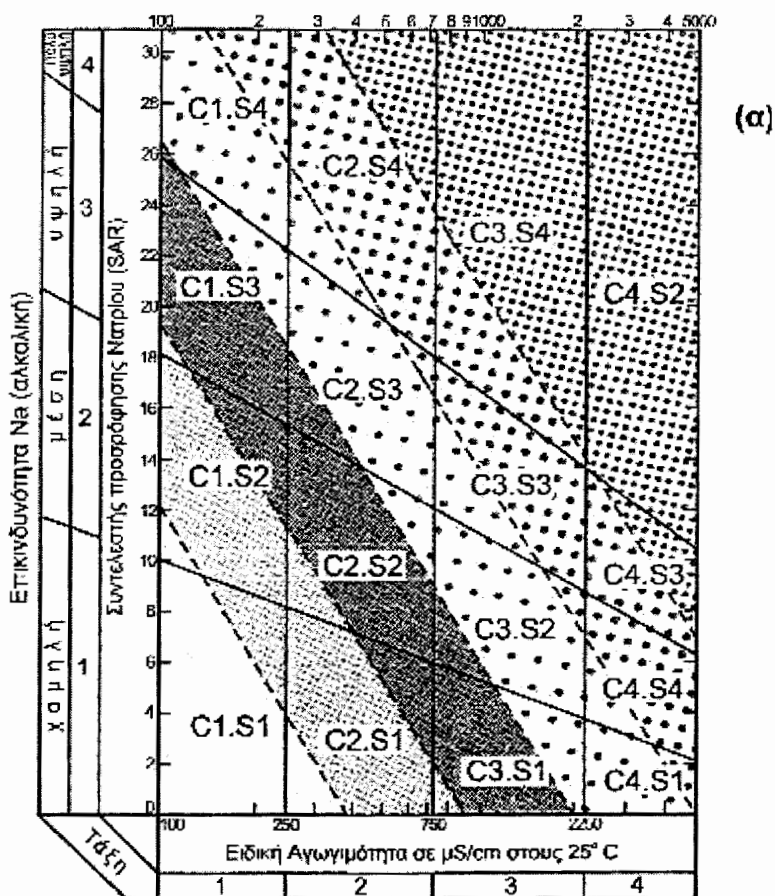
4. Διάγραμμα κατάταξης αρδευτικών νερών με βάση το δείκτη S.A.R.

Τέλος, μεγάλη χρησιμότητα παρουσιάζει η εφαρμογή των διαγραμμάτων κατάταξης αρδευτικών νερών με βάση το δείκτη S.A.R. (συντελεστής απορρόφησης νατρίου) που γίνεται με σκοπό τον έλεγχο της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού σε σχέση με τη φύση και τις ιδιότητες των καλλιεργούμενων εδαφών (σχήμα 11). Στον κατακόρυφο άξονα τοποθετούμε τον συντελεστή απορρόφησης νατρίου, ο οποίος δίνεται από τον τύπο :

$$S.A.R. = Na / \sqrt{[(Ca+Mg)/2]}$$

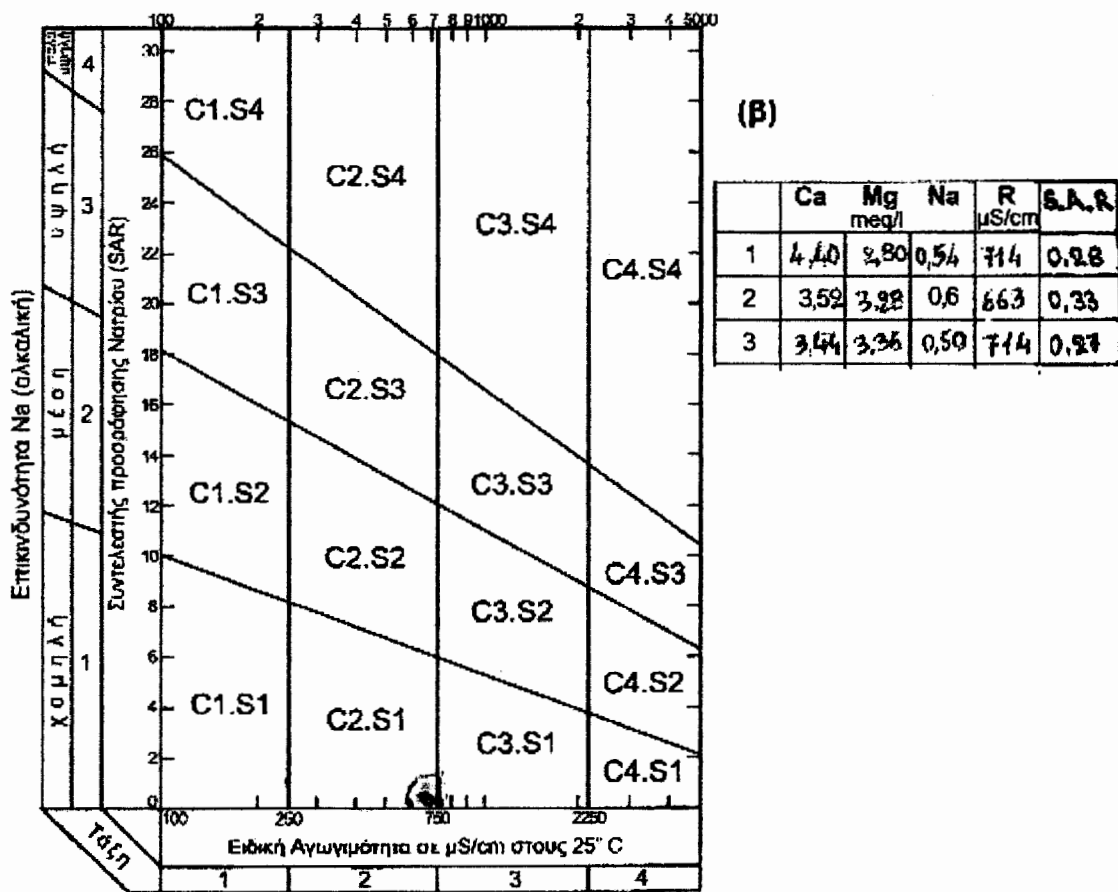
Στον οριζόντιο άξονα τοποθετείται η ειδική αγωγιμότητα σε $\mu S/cm$ στους $25^{\circ}C$. Κατασκευάζουμε, λοιπόν, πίνακα τιμών με βάση τις χημικές αναλύσεις των τριών δειγμάτων νερού και κατόπιν, προβάλλουμε τα ζεύγη τιμών επάνω στο διάγραμμα. Από τα σημεία που προκύπτουν διακρίνεται η κατηγορία αρδευτικού νερού στην οποία ανήκουν τα δείγματα. Οι κατηγορίες γενικά είναι οι εξής :

I.	C1- S1.	Ποιότητα καλή
II.	C1- S2, C2- S1.	Ποιότητα καλή έως μέτρια
III.	C1- S3, C2- S2, C3- S1.	Ποιότητα μέτρια έως πολύ μέτρια
IV.	C1- S4, C2- S3, C3- S2, C4- S1.	Ποιότητα πολύ μέτρια έως κακή
V.	C2- S4, C3- S3, C4- S2.	Ποιότητα κακή
VI.	C3- S4, C4- S3, C4- S4.	Ποιότητα πολύ κακή



Σχήμα 11. (α) Διάγραμμα κατά WILCOX κατάταξης αρδευτικών νερών με βάση το δείκτη S.A.R. και κατηγορίες νερού.

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, η ποιότητα του νερού και στα τρία δείγματα κρίνεται καλή έως μέτρια. Το νερό πρέπει να χρησιμοποιείται με προφύλαξη στα βαριά εδάφη που δεν αποστραγγίζονται και με επιφύλαξη για τα ευαίσθητα φυτά.



Σχήμα 11. (β) Εφαρμογή του διαγράμματος κατά WILCOX για τα τρία δείγματα νερού.

6. Συμπεράσματα

Από την επεξεργασία των αντλητικών δεδομένων από μια γεώτρηση σε οφιολιθικό υδροφόρο στρώμα της περιοχής Ξυνιάδας προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Οι υδραυλικές παράμετροι κατά την άντληση με σταθερή παροχή $q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ βρέθηκαν ότι είναι
 $T = 6.49 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$
 $k = 4.33 \cdot 10^{-6} \text{ m}/\text{sec}$
 $S = 27.75$
2. Οι υδραυλικές παράμετροι κατά την άντληση με σταθερή παροχή $q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ βρέθηκαν ότι είναι
 $T = 7.84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$
 $k = 45.22 \cdot 10^{-6} \text{ m}/\text{sec}$
 $S = 28.4$
3. Οι υδραυλικές παράμετροι κατά την άντληση με σταθερή παροχή $q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$ δεν μπόρεσαν να υπολογιστούν, διότι ο χρόνος άντλησης δεν ήταν επαρκής (2 ώρες) με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν αρκετές μετρήσεις, ώστε να εφαρμοστεί η μέθοδος του Jacob.
 - Η διακύμανση στις τιμές των υδραυλικών παραμέτρων οφείλεται κυρίως στο μη επαρκή χρόνο άντλησης, καθώς και σε τυχαία σφάλματα παρατήρησης. Ποσοστό του σφάλματος μπορεί να οφείλεται στην υποκειμενική χάραξη των ευθειών του Jacob με βάση τα διάφορα σημεία, το οποίο

όμως θεωρείται πολύ μικρό μέχρι αμελητέο και μπορεί να αποφευχθεί με την εφαρμογή στατιστικών μεθόδων.

- Η τιμή του συντελεστή εναποθήκευσης S είναι αφύσικα μεγάλη, δεδομένου ότι αυτός μπορεί να πάρει ορισμένο φάσμα τιμών που κυμαίνεται από $4 \cdot 10^{-1}$ μέχρι $5 \cdot 10^{-3}$ για τα ελεύθερα υδροφόρα στρώματα και από τιμές της τάξης του $\dots 10^{-4}$ μέχρι 10^{-6} για τα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα. Αυτό οφείλεται στο ότι οι μετρήσεις έγιναν μέσα στην αντλούμενη γεώτρηση, ενώ έπρεπε να γίνουν σε πιεζόμετρα που απέχουν από τη γεώτρηση, ώστε η απόσταση x να είναι μεγαλύτερη. Τα πιεζόμετρα δίνουν καλύτερες πληροφορίες για την υδραυλική συμπεριφορά του υδροφόρου στρώματος.

4. Οι υδραυλικές παράμετροι κατά την επαναφορά της στάθμης μετά από άντληση με σταθερή παροχή $q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ βρέθηκαν ότι είναι

$$T = 1.26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$k = 8.39 \cdot 10^{-6} \text{ m} / \text{sec}$$

5. Οι υδραυλικές παράμετροι κατά την επαναφορά της στάθμης μετά από άντληση με σταθερή παροχή $q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ βρέθηκαν ότι είναι

$$T = 1.32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$k = 8.86 \cdot 10^{-6} \text{ m} / \text{sec}$$

6. Οι υδραυλικές παράμετροι κατά την επαναφορά της στάθμης μετά από άντληση με σταθερή παροχή $q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$ δεν μπορούν να υπολογιστούν λόγω μη επαρκούς χρόνου άντλησης.

- Οι διακυμάνσεις στις τιμές των υδραυλικών παραμέτρων οφείλονται στους λόγους που προαναφέρθηκαν για την περίπτωση των αντλήσεων.

- Ο υπολογισμός του S δεν είναι δυνατός γιατί δεν υπεισέρχεται στον τύπο της μεθόδου της επανόδου της στάθμης.

7. Η κριτική παροχή θα είναι περίπου ίση με $65 \text{ m}^3/\text{h}$ και η αντίστοιχη κριτική πτώση στάθμης ίση με 3.5 m για χρόνο $t = 1 \text{ h}$ και ίση με 4.3 m για χρόνο $t = 2 \text{ h}$. Για παροχή μεγαλύτερη από αυτή την τιμή απαιτείται μεγαλύτερη δαπάνη ενέργειας και προκαλούνται φθορές στη γεώτρηση και τα όργανά της.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων τριών δειγμάτων νερού που πάρθηκαν στην αρχή, τη μέση και το τέλος της άντλησης από γεώτρηση σε οφιολιθικό υδροφόρο στρώμα της περιοχής Ξυνιάδας προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα για την ποιότητα του νερού:

1. το υπόγειο νερό παρουσιάζει αλκαλική συμπεριφορά με ολική σκληρότητα κυμαίνουσα από 340 έως $360 \text{ mg}/\text{CaCO}_3$ και ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνουσα από 663 έως $714 \text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$.
2. οι υδροχημικές διαδικασίες που κυριαρχούν στο νερό είναι οι ιοντικές ανταλλαγές, όπως προκύπτει από το διάγραμμα Durov.
3. η σύσταση του νερού θεωρείται ασβεστο-μαγνησιούχα στο σύνολό της, , ενώ τα ανιόντα τους είναι ανθρακικά. Τα κατιόντα έχουν μεικτή σύσταση, ενώ αυτά του πρώτου δείγματος (αρχή της άντλησης) είναι περισσότερο ασβεστούχα.
4. το υπόγειο νερό κρίνεται γλυκό με βάση το διάγραμμα κατά Schoeller. Και τα τρία δείγματα νερού έχουν πάνω κάτω την ίδια συνολική περιεκτικότητα σε ιόντα.
5. η ποιότητα του νερού και στα τρία δείγματα κρίνεται καλή έως μέτρια. Το νερό πρέπει να χρησιμοποιείται με προφύλαξη στα βαριά εδάφη που δεν αποστραγγίζονται και με επιφύλαξη για τα ευαίσθητα φυτά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- DUPUIT, J. (1863): «Etudes theoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux decouverts et a travers de terrains permeables». Dunond Paris, 2 edition, p. 304.
- DUROV, S.A. (1948): «Natural water and graphical representation of their composition». Dokl. Akad. Nauk. U.S.S.R. V. 59, p. 87-90.
- JACOB, C.E. (1940): «On the flow of water in an elastic artesian aquifer». Am. Geophys. Union Trans. vol. 72, p. 574-586.
- ΜΑΡΙΝΟΣ, Γ. ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, Ι., ΜΑΡΑΤΟΣ, Γ., ΜΕΛΙΔΩΝΗΣ, Ν., ΑΝΔΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ, Β. (1957): Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, 1:50000, Φύλλο Δομοκός-Έκδοση ΙΓΕΥ.
- PIPER, M. (1944): «A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis». Trans. Amer. Geophysical Union, V. 25, p. 914-928
- SCHOELLER, H. (1963): «Recherches sur l' aquisation de la composition chimique des eaux». Ed. Drouillard, Bordeaux, p. 231.
- ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ. (1986): «Ροή του υπόγειου νερού προς τα υδρομαστευτικά έργα». Γενική Υδρογεωλογία. Δεύτερος τόμος. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ. (προς δημοσίευση): «Υδροχημικοί χάρτες και διαγράμματα – Ιοντικοί λόγοι – Ταξινομήσεις και υδροχημικές φάσεις υπόγειου νερού».
- WILCOX, L.V. (1955): «Classification and use of irrigation waters». U.S. Depart. Agric. Circ. n° 969, p. 19, Washington.

Από τους πίνακες

- Οι 1, 2, 3, 4, 5, 6 έχουν ληφθεί από το Ι.Γ.Μ.Ε.
- Ο 11 από το Χημείο του Ι.Γ.Μ.Ε.